

(14) 高速回転ディスクによる余剰汚泥の高効率可溶化処理に関する研究

ADVANCED SOLUBILIZATION OF EXCESS SLUDGE BY  
HIGH-SPEED ROTARY DISK PROCESS

今井 剛\*, 浮田正夫\*, 深川勝之\*\*, 河村友喜\*\*, 関根雅彦\*, 樋口隆哉\*

Tsuyoshi Imai\*, Masao Ukita\*, Masayuki Fukagawa\*\*, Tomoki Kawamura\*\*,

Masahiko Sekine\* and Takaya Higuchi\*

**ABSTRACT;** In this study, solubilization of return sludge from secondary sedimentation tank (excess sludge) of wastewater treatment plant was investigated by passing the sludge through varying gaps (0.1 - 20 mm) between two high-speed rotary disks. The process was found to enhance the solubilization considerably. Significant decrease of particle size was observed after the first stage of the treatment. The solubilization rate of sludge, indexed as the ratio of DOC/TOC, increased considerably with the treatment time and it was observed that the greater solubilization could be achieved under the condition of higher sludge concentration. The solubilization remained high even though the gap between the two disks was increased to 20 mm. Furthermore, the possibility of improving the solubilization with only one disk was also investigated in this study. The results demonstrate the applicability of high-speed rotary disk process as an attractive novel process of excess sludge solubilization.

**KEYWORDS;** Solubilization, excess sludge, high speed rotary disk process, biodegradability, solid waste treatment

## 1. はじめに

昨今、深刻な社会問題となっているごみ問題を解決すべく、社会の物質循環の確保、天然資源の消費の抑制、環境負荷の低減を3本の柱とした「循環型社会形成推進基本法」が平成12年に、関連する廃棄物・リサイクル関連法をともなって制定・改正され、循環型社会を形成するための基盤が整備されつつある。これらの法整備により志向する循環型社会の実現のためには、“有機性廃棄物”に関してその循環利用を積極的に推進せねばならない。有機性廃棄物中で大きな割合を占めるのが廃水処理にともなって排出される余剰汚泥である。現在、排水の多くは活性汚泥法によって処理されているが、この処理法には大量の余剰汚泥が発生するという問題点がある。建設汚泥を含む全汚泥は、我が国では年間約1.9億t排出され、産業廃棄物の年間排出量の約48%（平成8年度）を占めている<sup>1)</sup>。排水処理にともなって排出される余剰汚泥はこのうち湿重で約10%程度であり、緑農地へあるいは建設資材として有効利用されているが、その割合は余剰汚泥排出量の約45%程度である。残りは、脱水あるいは焼却後に最終処分場に埋立られている。周知のように、最終処分場の絶対的不足からその埋立量の削減が必須である。したがって、新たな処理・処分方法の開発とその有効利用技術の発展が社会的に強く求められている。汚泥を再資源化する方法としては、メタンガスとしてエネルギー回収する方法、有用生産物の原料あるいは基質とする方法等が有望であるが、その前処理技術として可溶化技術の開発が重要である。含水率の高い有機性廃棄物の有効利用技術の大きな流れとしては、燃料化技術と生物学的な資源化処理技術の2つに大別できる。後者の技術は図1に示すように、可溶化等の前処理技術を基幹とした開発が進められている。可溶化技術は超臨界法、亜臨界法等<sup>2)~4)</sup>の高エネルギー分

\* 山口大学工学部社会建設工学科 (Department of Civil Engineering, Yamaguchi University)

\*\* 宇部高専物質工学科 (Department of Chemical and Biological Engineering, Ube National College of Technology)

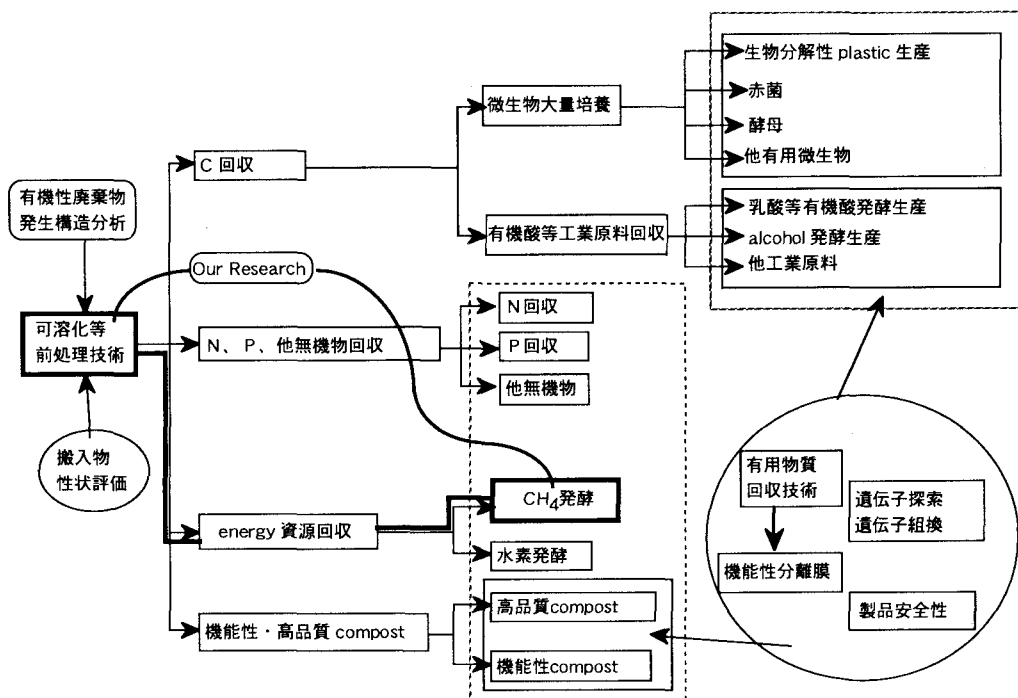


図1 有機性廃棄物資源化処理システムフロー

解法や酸・アルカリ・熱処理法<sup>5)</sup>、オゾン酸化法<sup>6),7)</sup>等の化学的分解法、高温細菌による生物化学的分解法<sup>8)~12)</sup>、機械的破碎による物理的分解法<sup>13)</sup>等、様々な技術開発が行われている。しかしこれらの方法は、高エネルギー消費型である、コストがかかる、あるいは装置の維持管理に熟練を要する等の問題点を有する。

そこで、本研究では維持管理が容易でコストの低減が期待できる物理的分解法の1つである高速回転ディスクによる污泥の可溶化に関する検討を行った。すなわち、高速回転ディスクを用いた流体のせん断力による余剰污泥の破碎および、温度の影響の検討を含めて前加温による可溶化の促進効果について検討した。また、本研究では下水処理場から排出される余剰污泥を対象として可溶化の検討を行った。装置の運転条件には污泥の種類によって、污泥濃度、処理時間、ディスク間隔、回転数の組み合わせに最適条件があるものと考えられる。その最適条件を把握するために可溶化率の比較ならびに、それに要する消費電力の比較を行った。また、それぞれの実験において污泥の濃度が異なることから直接的に溶解性有機炭素量 (DOC) で可溶化率を比較することが難しい。そこで、本研究では全有機炭素量 (TOC) で DOC を除した値を可溶化率の指標として用いた。

## 2. 実験装置及び方法

### 2.1 実験装置

本実験で用いた実験装置の概略を図2に示す。構造は非常にシンプルで下部固定ディスクの吸入口からサンプル (余剰污泥) が2枚のディスク間を遠心力によって通過し、モーターによる上部ディスクの高速回転によって污泥を破碎する回分 (バッチ) 式の回転ディスク型装置である。ディスクの材質はステンレスで、その表面は滑面である。その直径は上部ディスク180mm、下部ディスク

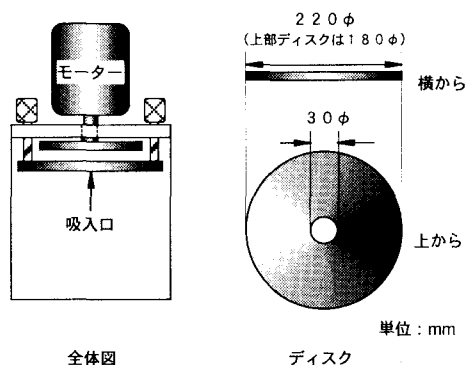


図2 実験装置の概略

ク 220mm であり、下部ディスクの中央に汚泥吸入のための直径 30mm の開口部があり、外側 75mm が接触部分である。ディスク間隔は調節ネジで数十  $\mu\text{m}$  ～数 cm まで自由に調整でき、隙間ゲージにより測定が可能である。ディスクの回転数は数百～5000rpm まで可変である。

2.2 実験方法

宇部市東部浄化センターから余剰汚泥を採取し、必要に応じて濃縮した。濃縮した汚泥 (9.0L) を図 2 の実験装置に投入して運転し、設定時間ごとにサンプリングを行った。各サンプルについて浮遊物質濃度 (MLSS)、揮発性浮遊物質濃度 (MLVSS)、生化学的酸素要求量 (BOD)、全有機炭素量 (TOC)、溶解性有機炭素量 (DOC)、粒度分布等を測定した。

実験条件として変化させたパラメータを表 1 に示す。それぞれのパラメータの組み合わせで最適条件を把握するための実験をくり返し行った。また、本研究では回転数を指標の 1 つとして用いており、すべての実験においてディスク

表 1 実験条件として変化させたパラメータ

|            | 濃度 (mg/L)  | 処理時間 (min) | ディスク間隔 (mm)                          | 回転数 (rpm)                 |
|------------|------------|------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 変化させたパラメータ | 2000~30000 | 20~120     | 0.1, 0.2, 0.4,<br>1, 2, 3, 5, 10, 20 | 3500, 4000,<br>4500, 5000 |

の径は固定で行ったため、回転数を指標として用いても差し支えないと考えられるが、一般的には回転数自体は回転ディスクの径の大小によってその周速が変化し、その周速が流体のせん断力に大きな影響を及ぼすことから、一般的な指標とはいえない。したがって、回転数と回転ディスクの周速の関係を表 2 に示す。

また、ディスク処理を行うことで反応槽内の温度上昇が起こるため、その温度上昇が可溶化に及ぼす影響を把握する必要がある。そこで、ディスク処理の前処理としての加温 (以後、前加温と略す) が、可溶化に及ぼす影響を把握するための実験を行った。設定温度は 70℃ (ディスク処理による温度上昇時の最高温度が 70℃ 付近であったため)、保持時間は 30 分とした。ディスク処理時間の標準を 45 分と設定したため、保持時間はそれより短い時間とした。具体的には、採取し濃縮した汚泥を恒温槽内で加温し、設定温度に達してから 30 分間設定温度で保持した。

可溶化処理後の余剰汚泥の生分解性を把握するために嫌気、好気の両面から実験を行った。嫌気においては、バイアル実験<sup>14)</sup>によりその生分解性の評価を行った。バイアルビンは有効容積が 75mL、宇部市東部下水処理場から採取した消化汚泥 (SS=17900mg/L、VSS=10300mg/L) を 40mL、基質としてディスク処理後のサンプルを 10mL ずつ注入し、恒温振とう槽内で 35℃、振とう数を 100 回/min に設定して行った。好気においては BOD<sub>20</sub> を測定することでその生分解性の評価を行った。なお、本実験では BOD<sub>20</sub> の測定において、硝化抑制に特に配慮はしなかった。それぞれの実験において、評価の対象としたのは処理前のろ過液 (ブランクとして)、処理後 (回転数 5000rpm、ディスク間隔 5mm、処理時間 45 分) のろ過液 (溶解性成分として)、処理後の SS 込み液 (トータルとして) である。なお、ろ過に用いたろ紙の粒子保持能力は 1.0  $\mu\text{m}$  である。また、SS 込み TOC の測定は、処理後のサンプルを希釈後、超音波破砕を行った後に、直接全有機炭素計にて測定した。

MLSS、MLVSS 及び BOD<sub>20</sub> は下水試験法<sup>15)</sup>にしたがい、TOC 及び DOC は全有機炭素計 TOC-5000 (島津製作所製) により、粒度分布はレーザー回折・散乱式粒度分布測定装置 LA-920 (堀場製作所製) により測定した。生分解性の把握を行う際の発生ガス組成はガスクロマトグラフ GC-8APT (島津製作所製) により測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 ディスク処理にともなうメジアン径の変化

処理時間にともなうメジアン径の変化を図 3 に示す。なお、メジアン径とは中央値のことである。図より初期 (1 分後) のディスク処理におけるメジアン径の低下が顕著であり、以後は緩やかに減少し 20  $\mu\text{m}$  前後まで低下したことがわかる。したがって、粒径に関しては初期 (1 分後) のディスク処理の効果が大きいこと

表 2 回転数と周速の関係

| 回転数 (rpm) | 周速 (m/sec) |
|-----------|------------|
| 3500      | 33.0       |
| 4000      | 37.7       |
| 4500      | 42.4       |
| 5000      | 47.1       |

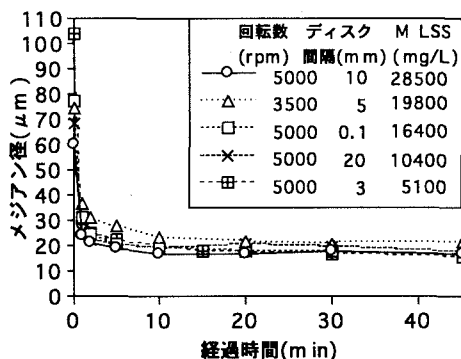


図3 メジアン径の経時変化の一例

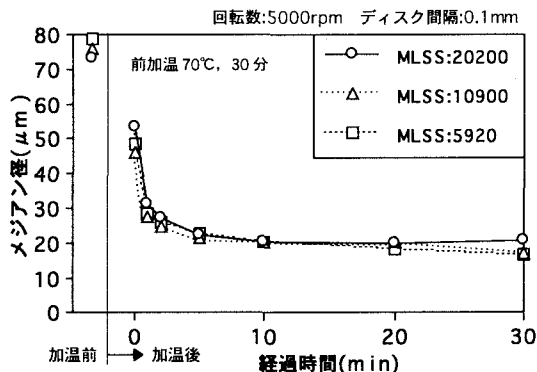


図4 加温によるメジアン径の変化

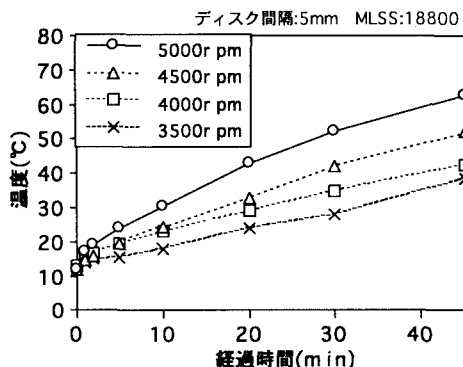


図5 回転数と温度変化の関係

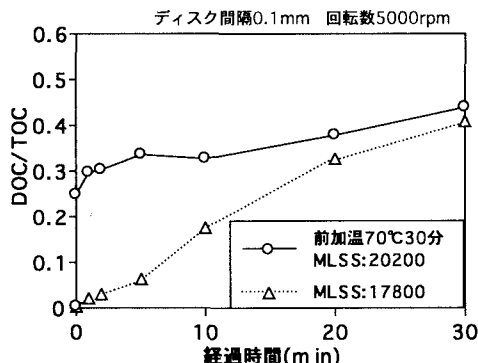


図6 前加温と無加温汚泥の可溶化率の比較

がわかる。また、図4は前処理としての加温（70℃、30分：以後、前加温と略す）を行うことによるメジアン径の変化と、その後に行うディスク処理によるメジアン径の変化を示したものである。この図から、前加温を行うことによりメジアン径は20  $\mu\text{m}$ 程度低下したことがわかる。その後のディスク処理によってメジアン径は、前加温を行っていない図3とほぼ同様なメジアン径に低下していたことから、前加温はその後のディスク処理によるメジアン径の変化には大きな影響を及ぼさないことがわかった。

### 3.2 前加温処理の可溶化に対する効果

図5は回転数を様々に変化させた場合における反応槽内の温度上昇の経時変化を示したものである。この図からわかるように回転数が高いほど温度上昇が顕著であることがわかる。温度上昇とともに菌の細胞膜が変成し、可溶化しやすくなることが推測される。そこで、前加温を行うことによりどの程度可溶化が進行するかを把握するための実験を行った。図6に前加温を行った場合の汚泥と無加温の汚泥との可溶化率の比較について示す。この図から前加温の効果による差がみられるのは20分までで、それ以降はほとんど同じ結果となったことがわかる。そのため前加温はその後のディスク処理を行う上で可溶化率の上昇に大きく寄与することはないことがわかった。また、加温による可溶化は2割5分程度であり、4割を越える高効率な可溶化を実現するためには、ディスク処理と組み合わせる必要があることが明らかとなった。したがって、コストを考慮すると前加温処理は特に必要ないと考えられる。ただし、前加温を行うことで初期の可溶化率を高くできるため、処理時間の短縮が可能である。よって、コストを考慮してあるいは場合によってどちらを選択するかを決定すべきであると考えられる。

### 3.3 ディスクの回転数の違いが可溶化に及ぼす影響

図7の回転数による可溶化率の違いから、回転数が高いほど可溶化率が高くなることがわかる。5000rpm

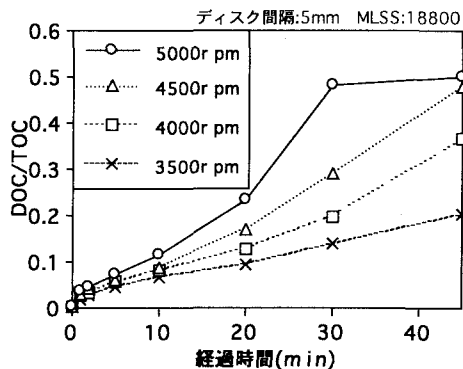


図7 様々な回転数における可溶化率の変化

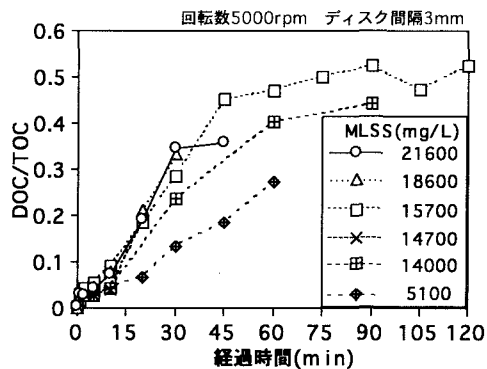


図8 処理時間にもとる可溶化率の変化

では、次第に可溶化率は定常に達するようにみられ、他の回転数ではさらに処理時間が長くなれば5000rpmの可溶化率に到達することがわかった。したがって、回転数が高いほど初期の可溶化率を高くできるが、初期における可溶化率が低くても処理時間を長くすることで可溶化率を高くすることができるため、コストを考慮してあるいは場合によって、どちらを選択すべきかを決定すべきであると考えられる。

### 3.4 処理時間にもとる可溶化率の変化

図8の処理時間にもとる可溶化率の変化(5000rpm)から、MLSSが20000(mg/L)前後と濃度の高い汚泥では可溶化率が30分過ぎで定常に達し、15000～16000(mg/L)の汚泥では45分～60分で定常に達していることがわかる。しかし、MLSSが5000(mg/L)程度の汚泥はまだ定常に達してはいないと考えられる。このことから、処理時間をより長くすれば可溶化率は高くなると考えられる。つまり、MLSSが高い汚泥では処理にかかる時間を短くできるといえる。濃度が高く時間が短い、濃度が薄くとも時間を長くかけるかは、コストや処理容量を検討して決定すればよいと考えられる。ただし、濃度の高い汚泥を長時間処理し続けると、モーターに負担がかかることが実験より確認された。以上のことから、汚泥濃度が15000(mg/L)程度以上である場合、ディスク処理45～60分以降の可溶化率にはほとんど変化がなかったことから、本実験での処理時間は回転数が5000rpmについては45～60分で十分であると考えられる。

### 3.5 ディスク間隔の違いが可溶化に及ぼす影響

図9において間隔の違いによる可溶化率に差はほとんどみられなかった。すなわち、間隔を大きくしても

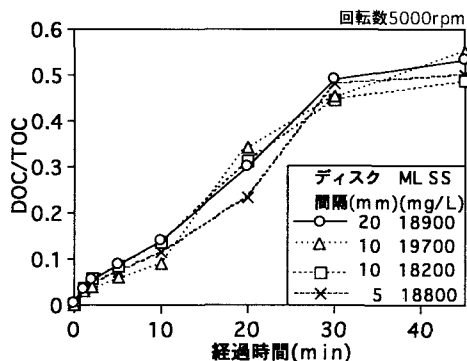


図9 間隔の違いによる可溶化率の比較

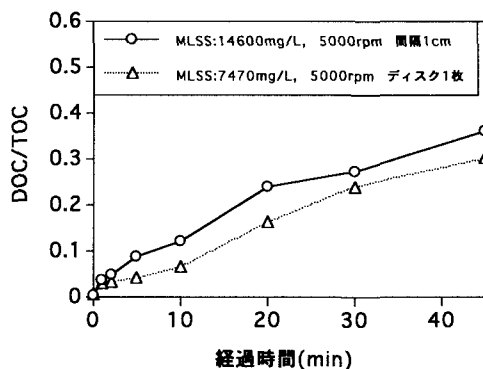


図10 単独ディスクによる処理結果と二枚ディスクによる処理結果の比較

可溶化が同程度に進行することが示された。ディスク間隔は、汚泥に含まれる砂などを考慮すると大きく設定できる方が望ましい。つまり、濃度が高く、多少砂などが混入しているような汚泥でも可溶化することができることは大きな利点であるといえる。また、装置製作時の精度、実際の使用やメンテナンス等を考えても間隔を大きくできることは非常に有利である。

さらに、この結果はディスク間隔を無限大にできる、すなわち回転ディスク1枚のみによる可溶化処理の可能性を示唆していることから、固定ディスクを除いてディスク1枚による余剰汚泥の可溶化処理実験を行った。その実験結果を図10に示す。比較のために同運転条件の固定ディスクがある場合の実験結果も併記した。この実験結果から汚泥濃度に違いがあるものの、固定ディスクがある場合に比べて1枚ディスクのみによる汚泥の可溶化は、処理時間30分で1割程度、45分で1.5割程度の低下にとどまったことがわかる。次項で詳しく述べるが、汚泥濃度が高い場合の方が可溶化率が高いことから、同濃度であればほぼ同じ程度の可溶化率が得られるものと予測される。したがって、この結果は1枚ディスクによる処理の可能性を示したものと考えられる。ディスクが1枚で汚泥の可溶化処理が可能であることは、装置製作費、装置制作時の精度、実際の使用やメンテナンス等を考えても固定ディスクが必要な場合に比較して極めて有利である。しかしながら、本実験で用いた装置の容量が小さく、壁面の影響も無視できないと考えられる。今後その点に関してさらに検討を進める必要がある。

3.6 汚泥濃度の違いが可溶化に及ぼす影響

図11から実験条件が同じならば濃度が高い方が可溶化率は高いことがわかる。そのため、汚泥は濃縮されたものを用いた方が効率が高いが、濃縮にかかる費用あるいはそれに要する時間を考慮して汚泥の濃度を決めるべきであろう。図3と図5～図11の可溶化率とを比較するとメジアン径の変化については初期のディスク処理が大きな効果を示しているのに対し、可溶化率は時間とともに緩やかに増加していることがわかる。したがって両者に比例関係はないと考えられる。このことは、初期においてメジアン径が小さくなくても微生物の細胞が破碎されているわけではなく、フロック状で存在していた微生物同士が分散しただけであることを示していると考えられる。

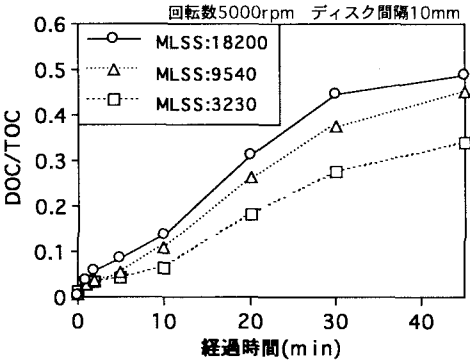


図11 濃度の違いによる可溶化率の比較

3.7 処理に要する消費電力の比較

図12は1回の処理(45分あるいは120分)にかかる消費電力を、3.5で示したように可溶化率はディスク間隔にほとんどよらないことを考慮し、回転数別で示した。低回転速度では当然その消費電力は小さくなるが、可溶化率が低くなるため可溶化された乾燥汚泥重量あたりの消費電力は相対的に高くなる。しかしながら、図にあるように低回転速度の場合は高汚泥濃度で、比較的長時間処理を行えば、可溶化された乾燥汚泥重量あたりの消費電力が低くなるということがわかる。逆に、高回転速度ではその可溶化率が比較的短時間で定常に達することから、長時間処理を行

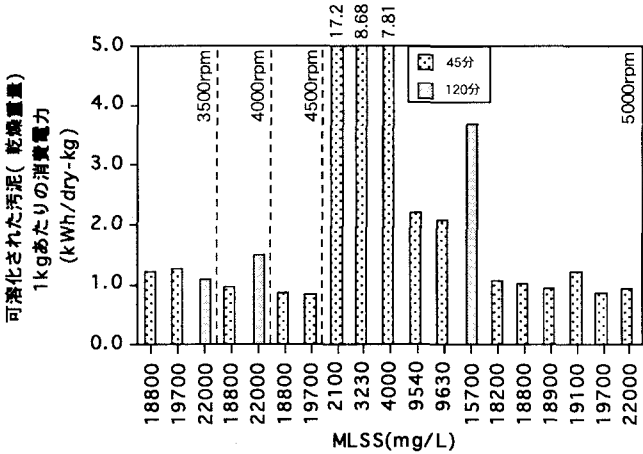


図12 可溶化された汚泥(乾燥重量)1kgあたりの消費電力の比較

うほど可溶化された乾燥汚泥重量あたりの消費電力が高くなる。

また、図より明らかなように同じ回転数では濃度が高い方が可溶化された乾燥汚泥重量あたりの消費電力は低くなる。また、同じ回転数（特に高回転速度）では時間が長くなると濃度が高い場合でも可溶化された乾燥汚泥重量あたりの消費電力は当然高くなる。

したがって、より効率的な処理を行うための条件としては、高汚泥濃度で比較的高回転速度（4500～5000）で短い時間処理を行うこと、あるいは高汚泥濃度で低回転速度で比較的最長い時間処理を行うことであると推定された。

### 3.8 ディスク処理後汚泥の生分解性の把握

可溶化処理後の余剰汚泥の生分解性を把握するために、嫌氣的生分解性特性に関しては、バイアル実験<sup>14)</sup>によりその評価を行った。図13はディスク処理後（回転数5000rpm、ディスク間隔5mm、処理時間45分）のろ過液、及び処理後のSS込み液をそれぞれ基質としてバイアル実験を行った結果、発生したメタンガスの累積発生量と経過時間の関係を示したものである。なお、ブランクとして処理前のろ過液を基質としたものも同時に行った。この図から、ブランクにおいてガス発生があるのは、処理前のろ過液にもわずかのDOCが残ってはいたものの、大部分は自己消化によるものであると考えられる。したがって、以下の解析にはすべてその時点までに発生した自己消化ガスを差し引いたものを用いた。図において、初期（700min程度まで）のガス発生速度を求め、それをVSSで除しこれを初期におけるVSS当たりのガス発生速度とした。なお、このVSSにはSS込み液に含まれるVSSは含まれていない。この値が大きかったのは、処理後ろ過液を基質とした場合であり、初期においては処理後ろ過液の場合が、処理後SS込み液の場合より約1.2倍高かった（処理後ろ過液で $3.3 \times 10^{-3} \text{ mL/min/VSS}$ 、処理後SS込み液で $2.8 \times 10^{-3} \text{ mL/min/VSS}$ ）。しかしながら、図から12hrを越える時点から処理後SS込み液の方が処理後ろ過液のガス発生量を上回っていたことがわかる。これは、処理後SS込み液が難分解性物質（例えば破碎された細胞膜等）を含んでいたことより、その分解に時間を要し、ガスの発生に時間遅れが生じたためだと考えられる。

次に、実験開始後25hr付近において、投入した基質のどれくらいの割合がエネルギーとして回収できるかを検討した。自己消化のガス発生量を差し引いて解析したところ、その値を多少高く見積もりすぎている可能性はあるものの、処理後ろ液を基質とした場合では5割程度がメタンガスとして回収可能であると推定された。他のものについても同様の結果が得られた。以上の結果から、可溶化処理を行った余剰汚泥は1日程度の時間で半分の消化率が実現でき、十分に実用化が可能なレベルにあると考えられる。

図14にBODによる処理後汚泥の好氣的生分解特性の経時変化について示した。図より処理後ろ過液と処理後SS込み液の好氣的生分解性は $\text{BOD}_{10}$ までほとんど同じ程度に増加したことがわかる。未処理ろ液の生分解性は $\text{BOD}_5$ までしか測定しなかったが、BOD値の大きさからも明らかなように、ディスク処理によ

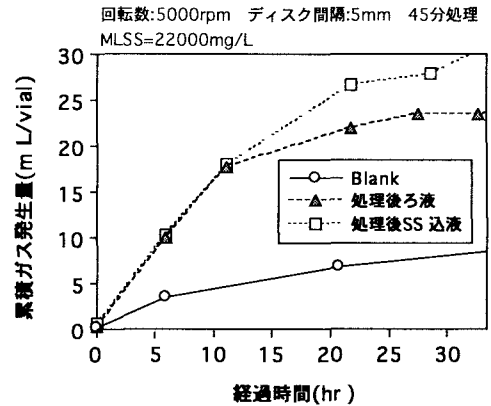


図13 メタンガス発生量

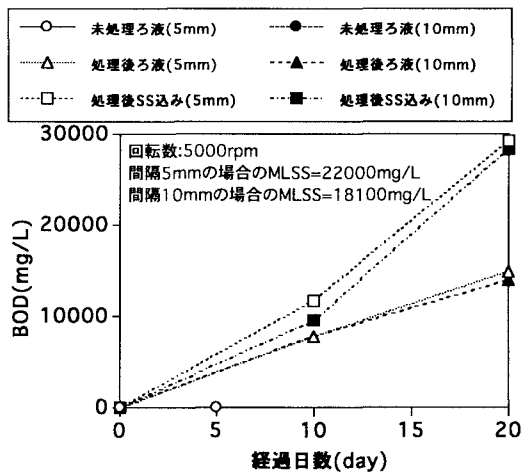


図14 好氣的生分解特性の経時変化

り、余剰汚泥の可溶化が起こり、汚泥が生分解しやすくなったことがわかる。処理後SS込み液の $BOD_{20}$ が、処理後ろ過液よりも顕著に増加したのはSSの主成分である細胞膜（もともと難分解性のもの）が時間の経過とともに易分解化した結果であると考えられる。測定は図に示すように2回行ったが同様な傾向がみられた。したがって、このことは破碎された菌の細胞膜の易分解化が可能であることを示したものであり、本高速回転ディスクの適用により、汚泥無発生型好気性排水処理プロセスの実現の可能性が強く示唆されたものと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究の結果をまとめると以下のようである。

- (1)高速回転ディスクを用いた余剰汚泥の可溶化において、初期のディスク処理におけるメジアン径の低下が顕著であったが、可溶化率は時間とともに緩やかに増加した。このことから、メジアン径が小さくなくても微生物の細胞が破碎されているわけではなく、フロック状で存在していた微生物同士が分散しただけであると判断された。
- (2)ディスク処理を行うことで反応槽内の温度上昇が起こる。その温度上昇が可溶化に及ぼす影響について検討した結果、温度上昇によって可溶化は確かに進行するがその程度は大きくなく、ディスク処理と組み合わせないと高効率な可溶化は実現できないことが明らかとなった。また、ディスク処理の前処理としての加温（前加温）はコストを考慮すると特に必要ないと考えられる。ただし、前加温を行うことで初期の可溶化率を高くできるため、処理時間の短縮が可能である。よって、コストを考慮してあるいは場合によってどちらを選択するかを決定すべきである。
- (3)回転数が高いほど初期の可溶化率を高くできるが、初期における可溶化率が低くても処理時間を長くすることで可溶化率を高くすることができるため、コストを考慮してあるいは場合によって、どちらを選択するかを決めるべきである。
- (4)汚泥濃度が15000(mg/L)程度以上である場合、ディスク処理45～60分以降の可溶化率にはほとんど変化がなかったことから、本高速回転ディスク装置の処理時間は回転数が5000rpmについては45～60分で十分である。
- (5)ディスク間隔の違いによる可溶化率の差はほとんどみられず、間隔を大きく設定できることから本回転ディスクは装置的に大変有利であることが明らかとなった。
- (6)1枚のみの回転ディスクによる汚泥の可溶化処理の可能性が実験的に示された。ディスク1枚のみで汚泥の可溶化処理が可能であることは、装置製作費、装置制作時の精度、実際の使用やメンテナンス等を考えても極めて有利である。
- (7)より高効率な処理を行うための条件としては、高汚泥濃度、比較的高回転速度（4500～5000rpm）で短い時間処理を行うこと、あるいは高汚泥濃度、低回転速度で比較的最長い時間処理を行うことであると推定された。
- (8)可溶化処理を行った余剰汚泥は1日程度の時間で半分の消化率（嫌氣的消化）が実現でき、十分に実用化が可能なレベルにある。
- (9)可溶化処理を行った余剰汚泥の好氣的生分解特性に関する実験結果から、本高速回転ディスクプロセスを適用することで余剰汚泥無発生型の好気性排水処理プロセス実現の可能性が強く示唆された。

#### 謝辞

本研究は、一部文部科学省科学研究費補助金奨励研究(A)(課題番号:12750498)の補助を受けて行った。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 平成12年版環境白書 総説・各論、環境省編（2001）
- 2) 横山伸也，鈴木 明：下水汚泥の油化処理技術，産業公害，26，7，530-536（1990）



- 3) オルガノ, 中外炉工業: リメルトステム, Cat. No.A-50-5 (1997)
- 4) 村上定瞭, 谷口 稔, 清水英男, 竹内正美, 石川宗孝, 中西 弘: 水熱反応を用いる汚泥消滅型生物法(水熱・生物法)の開発ー下水処理への応用ー, 第6回シンポジウム環境用水の汚濁とその浄化, 102-107 (1999)
- 5) V. アラヴィンタン, 味埜 俊, 佐藤弘泰, 滝沢 智, 松尾友矩: 発生汚泥量の減容のためのアルカリ・酸・熱処理による汚泥可溶化, 環境工学研究論文集, 35, 189-198 (1998)
- 6) 今岡 務, 井上雄三, 岡田光正, 波多野啓史: オゾン酸化処理による浄化槽汚泥の可溶化, 日本水環境学会年会講演集, 430 (1997)
- 7) 安井英斉, 佐久間聖一, 柴田雅秀: 余剰汚泥を発生させない新活性汚泥法の実規模運転による実証, 環境工学研究論文集, 33, 19-30 (1996)
- 8) 栗栖 太, 味埜 俊, 松尾友矩: 高温接触酸化処理法の下水余剰汚泥処理への適用に関する研究, 環境工学研究論文集, 33, 39-46 (1996)
- 9) 長谷川進, 三浦雅彦, 桂 健治: 好熱性微生物による有機性汚泥の可溶化, 下水道協会誌, 34, 408, 76-82 (1997)
- 10) 朴 戟, 稲森悠平, 水落元之, 岩見徳雄, 池田亮子: 高温好気発酵法による浄化槽汚泥の処理と温室効果ガスの発生特性, 日本水環境学会年会講演集, 463 (1998)
- 11) 桂 健治, 三浦雅彦, 長谷川進: 好熱性微生物を利用した余剰汚泥が発生しない活性汚泥プロセス, 水環境学会誌, 21, 6, 360-366 (1998)
- 12) 楊 瑜芳, 山口恭右, 津村和志, 内藤正明: 高温好気法における下水汚泥の生物酸化分解性評価, 環境工学研究論文集, 35, 181-188 (1998)
- 13) 名和慶東: ミル粉碎工程を含む嫌気性消化の効率化プロセスの研究, 下水道研究発表会講演集, 852-854 (1998)
- 14) T. KUBA, H. FURUMAI and T. KUSUDA: A kinetic study on methanogenesis by attached biomass in a fluidized bed, Wat. Res., 24(1), 1365-1372 (1990)
- 15) 下水試験法, (社) 日本下水道協会編 (1997)